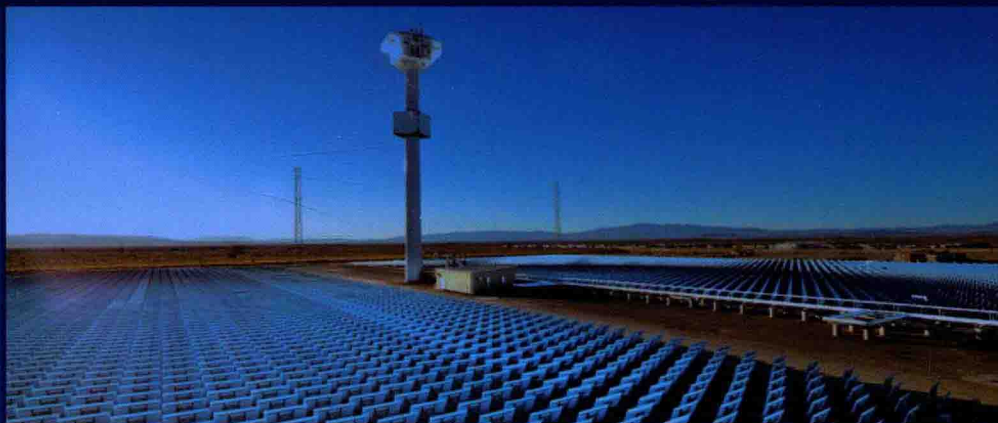




“十二五”
国家重点图书



太阳能热发电技术

TAIYANGNENG REFADIAN JISHU

张耀明 邹宁宇 编著



化学工业出版社

太阳能热发电技术

TAIYANGNENG REFADIAN JISHU

张耀明 邹宁宇 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

《太阳能热发电技术》分4篇13章,从能源和能源利用危机的视野入手,讲述了人类利用各种能源的历史,论述了人类现阶段利用太阳能的必然,阐述了太阳能热利用在未来能源中的地位。运用大量篇幅讲述了太阳能发电专有技术,包括聚光与聚光器、日照跟踪技术、接收器、太阳能热储存技术;各类太阳能热发电技术,包括塔式太阳能热发电、碟式/斯特林太阳能热发电、槽式太阳能热发电/线性菲涅尔式太阳能热发电、太阳能热气流发电/太阳能半导体温差发电、太阳池热发电和海水温差发电。最后对太阳能热发电技术的发展趋势进行了阐述。

《太阳能热发电技术》内容翔实,图文并茂,阐述概念清晰,可供太阳能利用领域专业技术人员参考,还可作为太阳能热发电的培训教材,同时可以作为新能源领域的技术人员、管理人员的科普读物。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能热发电技术/张耀明,邹宁宇编著. —北京:
化学工业出版社, 2015.9
ISBN 978-7-122-24617-2

I. ①太… II. ①张…②邹… III. ①太阳能发电
IV. ①TM615

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第158287号

责任编辑:袁海燕
责任校对:王素芹

文字编辑:刘婧
装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张25 字数599千字 2016年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:98.00元

版权所有 违者必究



序

Preface

努力推广普及 太阳能热发电技术

太阳能是取之不尽，用之不竭，没有污染，不会危害环境生态，不需要运输，在全球各处免费使用、安全使用、广泛使用的真正意义上全体人类的共享能源。

人类社会经历了数万年的天然草木时代，数千年的炭木时代，数百年的煤炭时代，不足百年的石油天然气时代，现在即将进入太阳能时代。

太阳能利用历史久远，既有闻名遐迩的设想，又有引人注目的记载，但是被众多因素制约。直到 20 世纪中期，太阳能的开发应用才开始奠定于坚实科学基础之上。现在，太阳能时代已初显端倪，太阳能科学的开发与应用，是 21 世纪左右世界经济、社会和科技发展的重大因素。

太阳能的开发应用代表着人类一种全新生活方式和生产方式。

事实上，新能源产业正孕育着新的经济增长点，也是新一轮国际竞争的战略制高点，各发达国家都已将新能源产业提高到战略产业地位。与新形态的生态文明相结合，以低碳经济的发展模式，创造生态工业文明，是科学发展与传统发展的角力，也是新型文明和现存体制的碰撞。

太阳能热发电对比其他发电技术有难以替代的优势。

例如在巴塞罗那的“欧洲科学开放论坛”上，众多学者呼吁在非洲沙漠建立一系列大型太阳能发电场，通过太阳能电池发电，或者通过汇聚太阳热加热水蒸气进而驱动涡轮机发电，显然，这些一流专家都认为太阳能热发电和太阳能光伏发电各有所长，应根据实际情况酌情选用。

太阳能热发电作为新能源产业的重要组成部分，随着国家相关政策的陆续出台和不断完善，必将在行将到来的低碳革命中扮演重要角色。

可再生能源技术的发展需要大思维、大视野，跳出单纯行业观点和当前利益的窠臼，从规划、系统、方法、技术与管理、政策、法律等多个层面进行努力。需要运用新思路、新技术、多领域交叉和综合战略，建立完整的无碳、低碳能源—经济体系，借此解决制约我国经济社会发展的能源和环境问题，使中国能源科学走在世界前列。

太阳能热发电系统是多物理过程、非稳态、强非线性耦合的复杂系统，当前制约太阳能热发电的主要障碍是聚光成本高，在不稳定太阳辐照下系统的光学效率和热功转换效率低。注重提高系统效率可靠性和环境适应性是规模化太阳能热发电的基本要求。构建以聚集太阳辐射从光到热的太阳能热发电热力循环理论，认识光、热、功三者耦合规律及热发电系统稳态和动态特性，研究不同传热和储热对系统热力循环特性的影响，可以为太阳能热发电系统的一体化多层次集成建模提供理论基础，可以为提高太阳能热发电的效率提供思路。

从战略和全球角度来看，加速发展太阳能发电，事关中国和世界能源安全、能源与环境

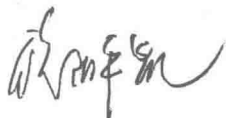
和谐发展等重大课题；有助于缓解中国面临的能源、环境压力，有助于提升中国的国际地位和影响力。

张耀明、邹宁宇编著的《太阳能热发电技术》一书，比较全面、系统地介绍了各种类型的太阳能热发电技术的原理、现状及发展趋势，值得关心太阳能科学、关心生态环保的广大读者参考。

张耀明院士的团队，是国内开展太阳能热发电技术研发的先行者之一，他们实现了国内首座 70 千瓦塔式太阳能热发电工程的成功发电，这一成功被推选进入 2005 年我国太阳能行业的十大成果；在槽式太阳能热发电技术中取得了很大进展，他又多方奔走，呼吁重视太阳能热发电技术，建立发电能力能与水利三峡媲美，甚至更胜一筹的阳光三峡，结合沙漠改造，西部开发，在中国西部建立大型太阳能热电站。

本书由张耀明执笔，基于中国科学院院士何祚麻、葛昌纯、蒋民华、干福熹，中国工程院院士徐德龙等 21 名两院院士的提议，旨在加强太阳能热发电技术的研发力度。相信本书有助于读者加深对有关知识的了解。

目前，世界范围内太阳能热发电技术正在高速发展，我国有关技术正面临重大突破。希望在不久的将来，一批世界一流的大型太阳能热发电工程就在我国西部沙漠、高原出现，为富裕、文明、绿色的中国提供源源不断的电力。



中国工程院院士
2015 年 4 月 29 日



前言

Foreword

在今后的一二十年，将会发生一场以绿色、智能普惠和可持续为特征的新技术革命和产业革命，将会改变全球产业结构和文明进程。太阳能科学技术是这场革命的组成部分。

从低碳、环保、绿色角度综合考虑，太阳能具有无可争议的优势，尤其是太阳能热发电技术，不仅没有污染，不会排放 CO₂ 等加重温室效应的气体和各类粉尘颗粒，还会改良当地气候、生态。太阳能热发电在未来能源结构中将会占据重要位置。

世界太阳能热发电技术经过 16 年的徘徊不前，自 2006 年后进入高速发展阶段，截至 2011 年短短 5 年时间，全球热发电装机容量增幅超过 400%，成为新能源发电群体中引人注目的明星。

世界观察研究所报告指出，太阳能市场增长高于石油工业 10 倍，远超风能成为世界发展最快的能源领域，并预言，太阳能将与计算机、信息工程成为 21 世纪的支柱产业。

今天，世界上越来越多的国家开始实施阳光计划，136 个国家和地区正在生产太阳能产品。一些化石能源资源贫乏、生态恶劣的国家和地区通过开发利用太阳能，已经开始取得清洁的能源。一些技术先进的发达国家或资金雄厚的海湾国家，更高度重视太阳能开发利用的科学研究。这些实践和《联合国人类环境宣言》、《斯德哥尔摩公约》、《21 世纪议程》等文件，尤其是 1996 年联合国世界太阳能高峰会议发表的《哈拉雷太阳能与持续发展宣言》、《世界太阳能 10 年行动计划》、《国际太阳能公约》、《世界太阳能战略规划》等文件，成为推动太阳能产业高速发展的动力，使得太阳能应用成本快速走低。联合国环境规划署也预计“到 2020 年，太阳能发电将成为世界上最大的产业之一和最普遍应用的能源之一。”

目前，从能源供应安全和清洁的角度出发，世界各国正把太阳能的商业开发和利用作为重要的发展趋势。欧盟各国、日本和美国已经把 2030 年以后能源供应安全的重点放在太阳能等可再生能源方面。在这一时期，太阳能科学技术会有突破性进展，地球各处将会出现大型和巨型太阳能工程，太阳能将会成为很多国家和地区的支柱能源产业。预计到 2023 年以后，以太阳能为主体的可再生能源中将占世界电力供应的很大比重，到 2050 年将超过 50%。如果以 1950 年石油、天然气供应能量超过当时世界能源总量一半作为石油时代来临的里程碑，那么到 2050 年，人类将昂首阔步迈入太阳能时代。

现在我国的太阳能热技术正蓄势待发，面临重大突破。由国家科技部等六部委牵头的太阳能光热产业技术创新战略联盟，“高效规模化太阳能热发电的基础研究”973 项目，“太阳能热发电工程设计研究中心”都已启动，在北京、内蒙古、青海和宁夏等地的太阳能热发电实验工程，有的已经取得可喜成果，有的在紧锣密鼓地进行。估计到 2020 年前后在具有迫切需求和理想应用的条件下，中国将会出现具有自主知识产权的一流太阳能热发电工程。作为一个全新的产业，需要向社会宣传介绍它的优势和特点，现在已有很多专家学者开始著书

立说，我们也希望本书能够对推广普及太阳能热发电知识产生一些作用。

本书引用许多专家学者的成果和论著，因为文献资料较多，一些未能一一列举，在此谨向有关作者表示衷心感谢。本书中也有一些张耀明院士团队（王军、孙利国、范志林、刘晓晖、安翠翠、刘德有、郭苏、陈强、陈琪、金保升、谷伟、余雷、李小燕、张文进、刘巍、邹宁宇等的一些著作内容，以上名单仅限于部分与院士共同署名者）的成果，特此致谢。

中国工程院院士、南京工业大学校长、国家 863 领域专家欧阳平凯，一直关心支持太阳能热发电技术，这次又特意为本书写序，在此向欧阳平凯院士表示衷心感谢。

编著者
2015 年 4 月



目录

Contents

第 1 篇 太阳能时代和太阳能热发电

1	能源和能源危机	002
1.1	能源的发展	002
1.1.1	火的应用	002
1.1.2	煤炭时代	003
1.1.3	油气开发	003
1.2	石油能源的危机	004
1.2.1	石油的重要性	004
1.2.2	石油的紧缺	005
1.3	能源消费对环境的破坏	006
1.3.1	地球环境的演变	006
1.3.2	人类对地球环境的依存	007
1.3.3	大气温室效应增强可能导致的后果	010
1.3.4	臭氧层破坏	010
1.3.5	酸雨	011
1.3.6	热污染	012
1.3.7	生物多样性锐减	013
1.3.8	大气污染引起的健康危害	014
1.3.9	能源开发和运输过程所致的环境效应	014
1.3.10	能源使用的“误区”——现代高能农业	016
1.3.11	废弃物泛滥成灾	017
1.3.12	水资源短缺	017
1.3.13	太多的人口——68 亿人的地球	019
1.4	能源危机与中国发展	019
1.4.1	中国人口	019
1.4.2	水资源	020
1.4.3	土地退化	021
1.4.4	中国酸雨状况	021
1.4.5	无处可扔的城市	022
1.4.6	物种减少	023

1.4.7	可持续发展重大阻力	023
1.5	中国采用新能源的紧迫性	026
②	重归太阳能	028
2.1	太阳能的基本知识	028
2.1.1	太阳辐照	028
2.1.2	日地关系	031
2.2	生物质能	032
2.2.1	生物质能状况	032
2.2.2	制约生物质能应用的因素	033
2.3	风能	034
2.3.1	风能状况	034
2.3.2	制约风能应用的因素	035
2.4	水能	036
2.4.1	水能状况	036
2.4.2	制约水能应用的因素	036
2.5	海洋能	037
2.5.1	海洋能状况	037
2.5.2	制约海洋能应用的因素	038
2.6	地热能	038
2.6.1	地热能状况	038
2.6.2	制约地热能应用的因素	039
2.7	天然气水合物	040
2.7.1	天然气水合物简介	041
2.7.2	制约天然气水合物应用的因素	041
2.8	核能	043
2.8.1	核能状况	043
2.8.2	制约核能应用的因素	044
2.8.3	轻核聚变	046
2.9	生态灾难	047
2.9.1	三峡工程的生态影响	049
2.9.2	汶川地震发生的可能原因	049
2.10	重归太阳能	050
2.10.1	美国太阳能计划	052
2.10.2	太阳能聚热发电技术	053
③	太阳能热利用：太阳能热利用在未来能源中的地位	054
3.1	太阳能热利用简史	054
3.2	我国太阳能资源	058
3.3	太阳能热利用技术	060

3.3.1	太阳能温室的结构类型	060
3.3.2	太阳灶概述	062
3.4	太阳能干燥概述	065
3.5	太阳能海水淡化	066
3.6	太阳能建筑理念	068
3.7	太阳能空调的意义	069
3.8	太阳能热水器	070
3.9	太阳能光伏发电和太阳能热发电技术比较	071
3.10	我国对太阳能热发电技术的发展规划	074
3.11	太阳能热发电在未来能源结构中的地位	075

第 2 篇 太阳能热发电专有技术

4	聚光与聚光器	080
4.1	聚光	080
4.1.1	聚光概念	080
4.1.2	聚光作用	081
4.1.3	聚光反射材料	082
4.1.4	聚光集热温度	084
4.1.5	太阳能热发电常用的聚光集热技术	085
4.2	聚光器	087
4.2.1	聚光器的演化	087
4.2.2	几类反射镜	088
4.2.3	CPC 聚光器	089
4.2.4	聚光器种类	091
4.2.5	透射式聚光器	091
4.2.6	聚光器的现状	093
4.2.7	定日镜	093
4.2.8	槽式反射镜	095
4.2.9	面聚光式聚光器	100
4.2.10	线聚光式聚光器	101
4.2.11	聚光集热器的发展方向	102
5	日照跟踪技术	104
5.1	日照跟踪技术的意义	104
5.2	太阳能自动跟踪装置	106
5.2.1	对控制系统的要求	106
5.2.2	太阳位置的计算	106
5.2.3	太阳跟踪装置	107

5.2.4	跟踪控制模式	110
5.2.5	开环、闭环、混合控制方式	112
5.2.6	影响聚光跟踪的因素	115
5.3	跟踪装置部分部件	116
5.3.1	传感器	116
5.3.2	光电传感器阵列布置	116
5.3.3	步进电机	118
5.3.4	减速器	119
5.3.5	谐波齿轮减速器	119
5.3.6	跟踪系统在工作过程中的损耗	119
5.4	别具一格的跟踪方式	121

⑥ 接收器（太阳锅炉） 122

6.1	接收器的概念	122
6.2	太阳光谱选择性吸收薄膜	123
6.2.1	太阳光谱选择性吸收薄膜的发展历史	123
6.2.2	光谱选择性吸收薄膜基本原理	124
6.2.3	选择性吸收涂层的概念和组成	125
6.2.4	选择性吸收涂层的基本构造	126
6.3	选择性吸收涂层的分类和性能	126
6.3.1	选择性吸收涂层的分类	126
6.3.2	中高温选择性吸收涂层的性能	127
6.4	有关平板接收器	130
6.4.1	平板型太阳能集热器概述	130
6.4.2	索绪尔热箱	131
6.4.3	吸热板和真空集热管	132
6.4.4	真空管用硼硅玻璃 3.3	138
6.5	直通式金属-玻璃真空集热管	139
6.5.1	真空集热管的特性	139
6.5.2	集热管的制造工艺及发展方向	141
6.6	热管式真空管集热器	142
6.6.1	热管的工作原理	142
6.6.2	中高温热管的制造工艺	144
6.7	中高温接收器	145
6.7.1	中高温接收器概述	145
6.7.2	接收器系统	146
6.7.3	管状集热接收器	148
6.7.4	圆柱接收器	150
6.7.5	直接照射太阳能接收器	150
6.7.6	管式和多孔体结构	154

7	太阳能热储存技术	157
7.1	热储存的意义	157
7.1.1	储热的作用与类型	157
7.1.2	储热与太阳能热发电站的设计	161
7.2	储热材料分类	163
7.3	显热储热材料	163
7.3.1	显热储热材料的性能要求	164
7.3.2	气体显热储热材料	164
7.3.3	液体显热储热材料	165
7.3.4	固体显热储热材料	167
7.3.5	两种介质储热	168
7.4	相变储热材料	171
7.4.1	相变储热材料性能	171
7.4.2	几类相变储热材料	171
7.4.3	无机盐相变材料	172
7.4.4	金属与合金相变储热材料	174
7.5	太阳能化学反应储存	175
7.5.1	太阳能化学反应储存概述	175
7.5.2	几类具有潜力的化学储热反应	176
7.6	太阳能热制氢	178
7.6.1	太阳能热制氢的意义	178
7.6.2	直接加热法制氢	179
7.6.3	热化学法制氢	180
7.7	跨季节储热太阳能集中供热系统 (CSHPSS)	181
7.7.1	CSHPSS 原理	181
7.7.2	太阳能热的地下储存	182
7.8	储热系统	183
7.8.1	储热装置技术	183
7.8.2	对储热容器的要求	184
7.8.3	储热装置的发展	185
7.8.4	储热罐	186
7.8.5	单罐储热和双罐储热	187
7.8.6	储热罐示例	191
7.9	热交换	193
7.10	热传输	195

第 3 篇 各类太阳能热发电技术

8	塔式太阳能热发电	198
---	----------	-----

8.1	塔式太阳能热发电技术概述	198
8.1.1	历史与现状	198
8.1.2	塔式太阳能热电站系统	199
8.1.3	塔式太阳能热发电站的特点	200
8.2	塔和塔式电站工作原理	201
8.2.1	塔功能概述	201
8.2.2	太阳能接收器	202
8.2.3	塔式太阳能热发电站的储热	202
8.2.4	塔顶接收器热过程的应用	203
8.2.5	塔式电站工作原理	204
8.3	跟踪系统	207
8.3.1	跟踪方法	207
8.3.2	跟踪控制系统	210
8.3.3	定日镜误差	214
8.3.4	塔式太阳能技术的未来与定日镜的发展	215
8.4	定日镜场	216
8.4.1	定日镜场的设计要求	216
8.4.2	设计思考	217
8.4.3	有关系数	219
8.4.4	镜场设计	220
8.4.5	系统性能的综合分析	221
8.4.6	定日镜场布置图	223
8.5	塔式太阳能热发电系统的运行和控制	224
8.5.1	概述	224
8.5.2	定日镜运行控制	225
8.5.3	跟踪控制系统基本情况	226
8.5.4	电站监控系统	227
8.5.5	流量控制示例	228
8.6	国内塔式电站的研制进展	228
8.6.1	70kW 塔式太阳能热发电系统	228
8.6.2	基本原理与总体思路	229
8.6.3	亚洲首座兆瓦级太阳能塔式热发电项目——北京延庆塔式电站	234
8.7	新型反射塔底式接收器	235
9	碟式/斯特林太阳能热发电	237
9.1	碟式太阳能热发电简介	237
9.2	装置与系统	239
9.3	碟式发电系统的旋转抛物面聚光器	242
9.3.1	旋转抛物面的聚光	242
9.3.2	聚光装置结构	242

9.3.3	碟式太阳能聚光器跟踪系统	244
9.4	接收器	245
9.4.1	接收器类型	246
9.4.2	热管式真空集热管在碟式太阳能热发电系统中的应用	246
9.5	太阳能斯特林发动机	250
9.5.1	斯特林发动机概述	250
9.5.2	斯特林热机工作原理	252
9.5.3	斯特林热机在太阳能发电中的应用	254
9.5.4	斯特林发动机的有关技术和部件	256
9.6	太阳坑	259
9.7	空间站太阳能热发电	260
9.7.1	空间站太阳能热发电的优势	260
9.7.2	空间太阳能热发电系统的热机循环	262
9.7.3	空间电站系统部件技术发展	263
10	槽式太阳能热发电/线性菲涅尔式太阳能热发电	267
10.1	槽式和线性菲涅尔式电站简介	267
10.1.1	槽式技术和线性菲涅尔式技术发展历程	267
10.1.2	槽式聚光集热器的集热效率	269
10.2	槽式太阳能热发电系统中的聚光集热器	270
10.2.1	集热管	270
10.2.2	聚光器	273
10.2.3	跟踪机构	276
10.3	聚光集热器阵列	277
10.3.1	槽式电站原理	277
10.3.2	镜场设计	278
10.4	聚光器集热工质	279
10.4.1	可以选用的集热工质	279
10.4.2	DSG 技术	282
10.5	槽式电站的储热	289
10.5.1	两种储热系统	289
10.5.2	双罐储热运行模式	290
10.5.3	储热形式及储热介质选择	291
10.5.4	储热系统设备	293
10.6	线性菲涅尔反射式太阳能热电站	295
10.6.1	聚光系统	295
10.6.2	镜场布置	298
10.6.3	发展及应用前景	301
10.7	塔式技术与槽式技术比较	302
10.7.1	两种技术的优缺点	302

10.7.2	两种技术的效率和环境影响	303
10.7.3	对我国槽式和塔式发电技术的一些思考	304
11	太阳能热气流发电/太阳能半导体温差发电	307
11.1	概述	307
11.1.1	太阳烟囱发电技术的发展过程	307
11.1.2	太阳烟囱发电技术的优点	307
11.2	太阳烟囱发电原理和进展	309
11.2.1	原理	309
11.2.2	太阳烟囱技术	310
11.2.3	进展	313
11.3	太阳烟囱发电新技术	313
11.3.1	强热发电技术	314
11.3.2	浮动烟囱太阳能热风发电	314
11.3.3	斜坡太阳烟囱发电	314
11.3.4	太阳烟囱发电技术在建筑中的应用	314
11.4	太阳烟囱发电展望	316
11.4.1	太阳烟囱的生态环境优势	316
11.4.2	太阳烟囱与超高建筑	317
11.4.3	太阳烟囱与天篷式建筑	318
11.5	其他太阳能热发电技术简介	319
11.5.1	碱金属热电转换	320
11.5.2	磁流体发电	320
11.5.3	热离子发电	322
11.5.4	半导体温差发电	323
12	太阳池热发电和海水温差发电	328
12.1	太阳池热发电技术简史	328
12.2	太阳池热电站系统	329
12.2.1	电站系统组成	329
12.2.2	太阳池工作原理	330
12.3	太阳池系统稳定运行的影响因素	331
12.4	太阳池储热能力和效率	332
12.5	太阳池的维护	333
12.6	太阳池热发电技术的展望	334
12.7	海水温差发电技术概述	335
12.8	海水温差发电技术原理	336
12.8.1	循环方式	336
12.8.2	设备	338
12.8.3	主要技术	338

12.8.4 组合利用	340
12.8.5 海水温差能与海洋波浪能结合的技术	340
12.9 海水温差发电技术特点	341
12.10 海水温差技术应用前景	342
12.11 太阳能热水力发电	343
12.12 太阳能热土壤温差发电	343
12.12.1 太阳能-土壤源热泵系统 (SESHPS)	343
12.12.2 有机朗肯循环	344

第 4 篇 太阳能热发电技术的发展趋势

13 太阳能热发电技术的集成整合及未来	348
13.1 当前太阳能热发电技术的特点及现状和面临的问题	348
13.1.1 太阳能热发电技术的特点及类型与技术的比较	348
13.1.2 单纯太阳能热发电技术现状及面临的问题	349
13.1.3 降低太阳能热发电成本的途径	351
13.2 聚焦太阳能热发电 (CSP) 技术的发展	354
13.2.1 发展趋势	354
13.2.2 当前发展目标	355
13.2.3 中国太阳能热发电技术的发展目标	357
13.3 太阳能互补发电系统	359
13.3.1 太阳能互补发电系统的概念	359
13.3.2 互补系统的形式	360
13.3.3 太阳能-燃气-蒸汽整体联合循环系统	361
13.4 太阳能热的应用	363
13.4.1 太阳热动力水泵、海水淡化	363
13.4.2 太阳能热与火力发电耦合	365
13.4.3 一种太阳能加热站集中供暖系统	369
13.4.4 线性菲涅尔式太阳能热联合循环发电	370
13.5 太阳能热化学复合系统	370
13.5.1 太阳能天然气重整发电	370
13.5.2 太阳能双工质联合循环发电	373
13.5.3 太阳能与其他几类能源的集成	375
13.6 太空太阳能发电	377
13.6.1 太阳塔、太阳碟与太阳盘	377
13.6.2 月球太阳能电站	378
13.6.3 地球太阳能电力网络	379
参考文献	381

第 1 篇

太阳能时代和太阳能 热发电

